

**LINEAMIENTOS DE MEJORAMIENTO DE PROCESOS ECO-EFICIENTES
PARA LA CURTIDORA DE CUERO INVERSIONES J Y D
EN CALARCÁ QUINDÍO.**

Juan Carlos Robledo Franco
jrobled4@eafit.edu.co

Trabajo presentado obtener el título de Magister en Administración

Asesores

Beatriz Amparo Uribe de Correa Magister en Ciencias de la Administración

Yuan Constantino Kuan Duque Magíster en Ingeniería

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN MBA**

**Medellín
Junio de 2014**

Agradecimiento

A Yuan Kuan Duque asesor temático del presente trabajo de grado, a quien le dedico este trabajo como un homenaje póstumo y exalto su gran interés en hacer que el mundo que heredemos a nuestros hijos sea mejor que éste en el que vivimos

Resumen

La ecoeficiencia es una rama de la sostenibilidad y una herramienta de gestión que implica un manejo más eficiente de los recursos, lo que conlleva a una menor producción de residuos y contaminación. La ecoeficiencia ayuda a que las empresas generen un mayor valor con un menor consumo de energía, y recursos y una menor generación de residuos. En el presente proyecto se presenta una propuesta ecoeficiente de mejoramiento de procesos para una empresa de curtido de cuero, que es una empresa altamente contaminante y tecnológicamente atrasada. Inicialmente se identificaron los procesos de mayor impacto ambiental y los residuos que se generan en cada uno de éstos procesos, luego se realizó una propuesta de innovación de procesos y equipos, recirculación de efluentes y comercialización de residuos, después se calcularon los costos relacionados con los cambios realizados, para finalmente realizar una evaluación de indicadores financieros de los cambios realizados.

Abstract

The eco efficiency is a part of the sustainability and it is a management tool that implies a more efficient management of the resources, it leads to a lower waste generation and pollution. The eco efficiency helps companies to generate higher value with less energy and resources consumption and lower waste generation. In this project was presented a eco efficient process improvement proposal for a leather tannery industry that is an industry with high pollution and low technology. Initially the process with the highest environmental impact and the waste generated on these processes were identified, then a proposal of

processes and equipment innovation, waste water recycling and waste valuation was presented, then calculated the costs related with the savings and investment of the proposal and finally a evaluation of the financial indicators were made.

Palabras clave

Eco eficiencia, sostenibilidad ambiental, mejoramiento de procesos

Eco Efficiency, sustainability, process improvement

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-----|--|--------------------------------------|
| 1. | Introducción..... | 1 |
| 2. | Marco de referencia conceptual | 7 |
| 2.1 | Sostenibilidad | 7 |
| 2.2 | Legislación ambiental para vertimientos de la industria del cuero | 8 |
| 2.3 | Eco eficiencia | 9 |
| 2.4 | Definición de procesos y procedimientos de la situación de estudio | 11 |
| 2.5 | Residuos contaminantes del proceso de curtido de cuero | 14 |
| 3. | Método de solución | 17 |
| 4. | Estado actual de la empresa en estudio | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5. | Factibilidad Técnica | 23 |
| 6. | Análisis de resultados y Conclusiones | 36 |
| 6. | Referencias | 40 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1 | Valores Máximos permitidos principales parámetros en la industria del cuero..... | 9 |
| Tabla 2: | Costo de insumos en el proceso de pelambre..... | 22 |
| Tabla 3: | Costo de Materias Primas en el Proceso de Curtición (curtido y piquelado)..... | 23 |
| Tabla 4: | Ahorros obtenidos en los procesos | 34 |

INDICE DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 1: Costo de proceso de pelambre predescarne SI Vs NO | 25 |
| Gráfica 2: Costos Asociados al Pelambre, Bombos Cangilones Vs Tacos | 27 |
| Gráfica 3: Ahorro DQO, sólidos disueltos y tasa retributiva en filtro de pelambre | 29 |
| Gráfica 4: Costos Asociados al Curtido | 30 |
| Gráfica 5: Ahorro en sulfato de cromo y agua | 31 |
| Gráfico 6: Polígono Radial de Selección..... | 32 |
| Gráfica 7: Evaluación de las tecnologías propuestas..... | 33 |
| Gráfica 8: Margen durante los 10 primeros años de proyecto..... | 35 |
| Gráfica 9: TIR Vs Año | 35 |

1. Introducción

A medida que el hombre promueve el desarrollo de la industria, se intensifica el deterioro de los recursos naturales, debido a que los procesos industriales aportan sustancias deletéreas al ambiente ya sea en forma de energía o materia (residuos, vertimientos, emisiones, ruido, calor, etc.), lo que ha llevado a la adopción de nuevas técnicas en busca ser sostenible y sustentable a través del tiempo, con productos inocuos, de excelente calidad, económicamente rentables y ecológicamente amigables con la naturaleza.

En 1972 el informe del Club de Roma “Los límites del Crecimiento Humano”, muestra la urgencia de buscar soluciones al problema ambiental global (Meadows, 1972). En 1983 la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, definió que la protección del medio ambiente debe convertirse en un asunto de supervivencia para todos. En 1987 se presenta el informe de la Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo bajo el nombre de "Nuestro Futuro Común", también conocido como "Informe Brundtland", donde una conclusión fundamental es la desigualdad creciente entre países pobres y ricos como "el principal problema ambiental del planeta y del desarrollo" y "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias" es el fundamento del Desarrollo Sostenible (WBCSD y UNEP, 1997)

Aunque las Naciones más desarrolladas trabajan por el Medio ambiente, éste es un compromiso de todos y es necesario que no solo los gobiernos, sino las universidades, las

empresas y todos los que podemos llegar a tener alguna posibilidad de impactar en el mejoramiento de nuestro planeta, lo hagamos para que las futuras generaciones puedan habitarlo.

En la actualidad el cuero es uno de los materiales más útiles con que ha contado la humanidad a través de su historia, desde la prehistoria se utilizaba la grasa de los sesos de los animales cazados frotada sobre la piel para evitar que ésta se dañara o endureciera. Los hebreos y babilonios preservaban las pieles con medios parecidos a los existentes en curtidurías muy rudimentarias, como eran cubrir la piel con sustancias astringentes de cortezas, raíces y frutos, curándola con sal común y algunas veces frotándola con aceites.

Desde 1999 el parque mundial de animales para obtención de piel de bovino, ovino y caprino ha mantenido una cierta estabilidad, con incremento anual de alrededor el 1%, siendo los países en vía de desarrollo los que han logrado incrementar la producción, con un retroceso de los países desarrollados. (Universidad de Santiago de Compostela, 2007) Según las estimaciones de la FAO en 2004 la población mundial de ganado vacuno era de 1.339 millones de cabezas de las cuales el 33.2% se localizan en Asia, el 36.4% en América, el 17.5% en África, el 10.1% en Europa y el 2,7% en Oceanía. El Continente Americano ocupa el primer lugar en importancia junto al Continente Asiático, con un gran potencial de crecimiento. India es el país que concentra el mayor número de hato de ganado con el 16.2%, seguido por Brasil (12.4%), China (7.7%) y Estados Unidos (7.3%). (FAO, 2004). Se espera que la tendencia de la producción de cueros en la Comunidad Europea sea negativa en los próximos años, dada la menor demanda de carne de vacuno. Similar situación ocurre con Norte América debido al menor sacrificio. Mientras que los países en

desarrollo deberán aumentar su producción de pieles de vacuno, debido a una mayor demanda de carne. De igual manera, se tiene la expectativa de un mayor crecimiento en Asia, pues algunos países como China y Corea del Sur han aumentado el consumo de carne. África también ha incrementado la producción de cueros por el rápido crecimiento del consumo de carne bovina, la perspectiva es que siga creciendo apoyada por el mejoramiento de las técnicas de desolladura y curado, no obstante se puede ver afectada por los cambios en las preferencias de los consumidores por otras carnes

En los últimos años la disponibilidad de piel en bruto para las industrias curtidoras de piel se ha visto afectada por las restricciones de las exportaciones de los países en vía de desarrollo, el 50% de las pieles de bovino mundial y un 22% de las de ovino están sujetas a restricciones de exportación, es decir tienen que realizar un paso del proceso de producción antes de salir del país de origen ya sea como wet-blue o como crust. (Universidad de Santiago de Compostela, 2007)

En Colombia la industria de la curtición surgió desde hace mucho tiempo en una forma muy rudimentaria, en 1977 se creó una asociación de industriales del cuero, que surgió a raíz de la unión de un grupo de curtidores preocupados por la obtención de una mayor calidad en sus productos y la poca eficiencia de los procesos. Los cambios promovidos por ésta asociación, fueron orientados a mejorar la calidad de los productos terminados, sin considerar en ningún momento el daño que ésta industria le hace al medio ambiente debido a que es una de las más contaminantes.

Colombia en 2010 poseía un hato ganadero de 22.6 millones de cabezas de bovinos (FEDEGAN, 2011), con lo que se da origen a la cadena productiva del cuero: hato ganadero, plantas de beneficio, curtiembres, calzado, marroquinería e industria de subproductos, no obstante el desarrollo de la industria de las curtiembres, las pieles que se procesan en Colombia son de mediana calidad, debido a que casi siempre presentan daños que deterioran su apariencia: en el animal vivo la piel puede dañarse por marcas inapropiadas, desgarros y parásitos, o marcas del ganado, después de la muerte del animal, la piel puede dañarse por golpes, cortes y ralladuras durante el desuello y rozaduras durante el arrastre, así mismo un retraso en el lavado, limpieza y el secado de la piel, o una mala conservación pueden disminuir su calidad. Otro factor que influye en la baja calidad de las pieles es el ataque de roedores e insectos durante su almacenamiento. Por todo lo anterior las pieles colombianas no son de muy buena calidad, lo que ha ocasionado que principalmente se usen para la fabricación de zapatos. (Amaya, 2010)

En el sector agropecuario son pocos los productos de los que se puede aprovechar más de un tercio de su biomasa, transformándose en la mayoría de los casos los dos tercios restantes en residuos no aprovechados. De esta manera el hombre satisface la mayor parte de sus necesidades, extrayendo únicamente el componente requerido (elaboración del producto principal) y descartando el resto, lo que ha llevado a través de los años a afectar negativamente los ecosistemas, lo que se refleja principalmente en una restricción paulatina en el uso del recurso hídrico, en el deterioro de los suelos y en la contaminación de la atmósfera. Se calcula que en el proceso de curtición, el producto final (cuero curtido), representa menos del 50% del peso del producto inicial (piel cruda), por lo que un porcentaje significativo de la materia prima se queda en el proceso como residuo, que al no

ser tratado correctamente, pueden afectar al medio ambiente y el bienestar de la población. En general se ha calculado que por cada 1000 Kg. de pieles saladas que ingresan al proceso de curtición, se debe adicionar aproximadamente 450 Kg. de insumos químicos, para obtener al final del proceso: 200 Kg. de cuero terminado, 40 Kg. de solventes emitidos a la atmósfera, 640 Kg de residuos sólidos y 138 Kg. de agua contaminada (Benítez-Campo, 2011), presentándose la generación de vertimientos con alta carga contaminante, representada en valores de DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos, sulfuros, cromo, fenoles, entre otros, que se encuentran por encima de los establecidos en la resolución 3956 de junio 19 del 2009 del DAMA.

Las fuertes exigencias del mercado internacional en cuanto a competitividad en la calidad de productos, precios y condiciones ambientales han generado nuevos desafíos en cuanto a sustentabilidad para éste tipo de industrias, lo que obliga a que las empresas se especialicen para lograr en forma integrada, procesos altamente optimizados, con un elevado aprovechamiento de materias primas y una mínima emisión de residuos al medio ambiente.

En Colombia desde 1997 se ha legislado sobre las características que deben tener los efluentes industriales, en éste año se promulgó la Ley 388 que en el artículo 10 regula los efluentes de las curtimbres (Diario Oficial , 1997) y aunque ésta regulación lleva 17 años son muy pocas las empresas que la cumplen, debido a los altos costos de tratamiento de los mismos.

Según información nacional consolidada para el diagnóstico nacional, en Colombia existen 664 empresas curtidoras de cuero, de las cuales el 77% son microempresas, el 19 % pequeña industria, el 3% son empresas medianas y el 1% de gran industria (ANDI, 2005), de estas empresas hay aproximadamente un 2% que están cumpliendo las normas ambientales vigentes.

El no cumplimiento de la legislación, en la mayoría de los casos es debido al alto costo de implementación de plantas de tratamiento de aguas a final de tubería para el tratamiento de toda el agua del proceso, pero también es debido al desconocimiento de nuevas tecnologías (duras y blandas), que así algunas de estas impliquen una inversión inicial considerable, en el mediano plazo pueden traer beneficios económicos debidos a disminución de costos de producción y aprovechamiento de subproductos.

No cumplir las normas ambientales, ocasiona para las empresas multas e incluso cerramientos, como está pasando en Bogotá en el barrio San Benito donde un porcentaje considerable de empresas ya han recibido multas, algunas otras han sido selladas e incluso en algunos casos los propietarios van a la cárcel por contaminación. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2003). Lo anterior es un problema importante, ya que según la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del Departamento Nacional de Planeación, la cadena del cuero, calzado e industria marroquinera tuvo en el 2012 una participación del 0,8% de la producción industrial, y el 3% del empleo.

Hoy lo ambiental es percibido localmente, pero hace parte de un proceso global y la industria se debe preparar para afrontar los retos de ser ambientalmente amigable al mismo tiempo que económicamente viable.

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior este trabajo elabora una propuesta de mejoramiento eco eficiente de procesos para la empresa curtidora de cuero Inversiones J y D ubicada en Calarcá, Quindío, con el fin de cumplir normativas ambientales y hacer un proceso más sostenible, iniciando con la comprensión del proceso para evaluar los factores ambientales que permiten o restringen el proceso, para luego realizar un diagnóstico ambiental del proceso y después identificar las opciones para el mejoramiento ambiental del proceso empleando tecnologías BAT (Best Available Technology) buscando un equilibrio óptimo en la utilización de recursos naturales y disminución de desechos contaminantes, por último se realizaron cálculos y análisis de indicadores financieros para verificar si la propuesta es rentable para la empresa.

En resumen el presente trabajo pretende responder la siguiente pregunta ¿Cómo una empresa de curtido de cuero puede ser ambientalmente sostenible y financieramente viable?

2. Marco de referencia conceptual

2.1 Sostenibilidad

Hace un tiempo las empresas ignoraban la sostenibilidad ya que consideraban que era una táctica exclusiva para que las empresas se vieran bien, pero que no tenía ningún retorno de la inversión y se convertía únicamente un gasto para la empresa. (García, 2008). Un

nuevo paradigma busca integrar los esfuerzos sostenibles en cada faceta del negocio y la administración de proyectos no es la excepción.

Las organizaciones inteligentes han entendido los beneficios que trae al negocio la sostenibilidad en términos de prácticas de administración de proyectos: menores costos, mayores eficiencias, mejora en la satisfacción de los inversionistas y mayores ventajas competitivas. (José Francisco Vidaurri Ramírez, 2011). Adicionalmente, integrando la sostenibilidad a los procesos de la empresa, se pueden crear beneficios financieros, ambientales y sociales. (PMI, 2011)

2.2 Legislación ambiental para vertimientos de la industria del cuero

La legislación ambiental Colombiana para la industria del cuero ha sido una legislación laxa ya que realmente no obligan a las empresas a cumplirla y los parámetros regulatorios no han sido muy exigentes. Desde hace varios años esto ha venido cambiando debido a que el gobierno y las corporaciones ambientales se han dado cuenta de la cantidad de efluentes tóxicos que salen del proceso del cuero y los recursos naturales que se consumen en la fabricación de este insumo, por lo tanto los parámetros de la legislación se han ido revisando y cada vez se están volviendo más drásticos en exigir su cumplimiento.

En Colombia, el decreto que rige los vertimientos de la industria de fabricación de cuero es el 3930 de 25 de Octubre de 2010 y la resolución de este mismo decreto que fue modificada en noviembre de 2013 en donde se encuentran los parámetros de vertimientos y

disposición de desechos líquidos en la industria en general. Los parámetros específicos para la industria de curtido de cuero se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Valores Máximos Permitidos para principales parámetros en la industria del cuero

| Parámetro | Unidades | Valores máximos permitidos |
|--|-------------------------|----------------------------|
| pH | Unidades de pH | 6 a 9 |
| Temperatura | °C | 40 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mgO ₂ /litro | 1200 |
| Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅) | mgO ₂ /litro | 600 |
| Sólidos suspendidos totales (SST) | mg/litro | 600 |
| Sólidos sedimentables (SSED) | ml/litro | 2 |
| Grasas y aceites | mg/litro | 80 |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | mg/litro | 5,00 |
| Hidrocarburos totales (HTP) | mg/litro | 5,00 |
| Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | mg/litro | 0,10 |
| Fosforo total | mg/litro | 5.00 |
| Nitrógeno total (N) | mg/litro | 30 |
| Cloruros (Cl ⁻) | mg/litro | 1200 |
| Sulfuros (S ²⁻) | mg/litro | 3.00 |
| Cromo (Cr) | mg/litro | 1.50 |

Fuente: Decreto 3930 de 25 de Octubre de 2010

2.3 Eco eficiencia

La eco eficiencia es una estrategia de gestión que combina el rendimiento económico y el medioambiental. Permite procesos de producción más eficientes y la creación de mejores productos y servicios, a la vez que reduce el uso de recursos, residuos y contaminación a lo largo de la cadena de valor. Crea más valor con menos impacto a través de la separación de los bienes y servicios a partir del uso de la naturaleza. (Consejo empresarial mundial para el desarrollo sostenible, 2002).

Es una filosofía administrativa que impulsa a las empresas a buscar mejoras ambientales paralelamente con los beneficios económicos. Se enfoca en las oportunidades de negocios y permite a las empresas ser más responsables ambientalmente y más rentables. (Ministerio de ambiente, Perú, 2009).

La eco eficiencia tiene 3 objetivos generales que son (Forum Ambiental, 2003):

- Reducir el consumo de recursos: Esto incluye minimizar el consumo de energía, materiales, agua y terreno, aumentar la reciclabilidad y la durabilidad del producto, y cerrar el ciclo de los materiales.
- Reducir el impacto en la naturaleza: Incluye minimizar las emisiones, vertimientos, disposición de residuos y la dispersión de sustancias tóxicas, también incluye el apoyo al uso sostenible de los recursos naturales
- Suministrar más valor con el producto o servicio: Significa dar más beneficios a los usuarios, por medio de la funcionalidad, la flexibilidad y la modularidad del producto, entregando servicios adicionales y enfocándose en vender la solución a las necesidades de los clientes. Esto abre la posibilidad para que el usuario dé satisfacción a sus necesidades, con un menor consumo de materiales y recursos.

(Wold Business Council for Sustainable Development, 2000).

La implementación de la eco eficiencia dentro de los procesos de una organización, trata ante todo de buscar las oportunidades, dichas oportunidades para la eco eficiencia pueden ser encontradas en cuatro áreas:

Primero, las organizaciones pueden efectuar la reingeniería de sus procesos, para reducir el consumo de recursos, reducir la contaminación y evitar riesgos, al tiempo que ahorran costos.

Segundo, por medio de la cooperación con otras empresas, muchas organizaciones han encontrado maneras creativas para revalorizar sus subproductos. Esforzándose por lograr cero desperdicios u objetivos de producción del 100%, han encontrado que los llamados desperdicios de sus procesos, pueden tener valor para otras empresas.

Tercero, las organizaciones pueden ser más eco eficientes por medio del rediseño de sus productos.

Cuarto, algunas compañías innovadoras no solamente rediseñan sus productos, sino que encuentran nuevas maneras de satisfacer las necesidades de sus consumidores. Estas empresas trabajan con sus clientes, y con otros grupos de partes interesadas para pensar nuevamente sus mercados, y rehacer la demanda y a sus proveedores completamente. Estas son formas diferentes y mejores de satisfacer las necesidades de los clientes. (Barragán, 2010)

2.4 Definición de procesos y procedimientos de la situación de estudio

Curtición es el proceso de convertir la piel cruda del animal, un material altamente putrescible, en cuero, un material estable que puede utilizarse en la fabricación de una amplia gama de productos.

2.4.1 Etapas del proceso de curtido de pieles

El curtido de cuero se divide en 3 etapas:

2.4.1.1 Ribera

El objetivo de la ribera es limpiar y preparar la piel para facilitar la etapa de curtido. En esta etapa se recibe la piel (verde, salada, en sangre o seca), se hidrata, se le quita el pelo y la endodermis, formada por proteínas y grasas, se aumenta el espacio inter fibrilar y se eliminan las impurezas presentes.

2.4.1.2 Curtido

El objetivo de esta etapa es la estabilización irreversible de las sustancias perecederas de la piel. El curtido comprende los pasos de desencalado, rendido (purga), piquelado y curtido.

En las operaciones de desencalado y rendido no se elimina toda la cal que la piel absorbe. El pH final del desencalado es de 8.3 aproximadamente, se ha eliminado la cal no combinada que se encuentra en los espacios interfibrilares, pero no el álcali que está combinado con el colágeno. En la operación del piquelado se trata la piel desencalada y rendida con productos ácidos que los incorporan a la piel y al mismo tiempo bajan el pH hasta un valor entre 1.8 y 3.5, dependiendo del artículo a fabricar.

Existen tres tipos de proceso de curtido, según el curtiente empleado:

Curtido Vegetal: Emplea taninos vegetales. Este tipo de curtición se usa para la producción de suelas, de cuero para talabartería, correas, monturas, usos industriales y de

cuero para repujados. Las fuentes del tanino más empleadas son: el extracto de quebracho y corteza de acacia negra y la mimosa.

Curtido mineral: El curtido mineral emplea sales minerales, se usa en la producción de cueros para la fabricación de calzados, guantes, ropa, bolsos, etc. La ventaja principal de este proceso es la reducción del tiempo de curtido a menos de un día, además de producir un cuero con mayor resistencia al calor y durabilidad en el tiempo. En el curtido mineral se utilizan sales de cromo. El curtido se realiza en tambores.

Curtido sintético: Emplea curtientes sintéticos. En el curtido sintético se usan curtientes orgánicos sobre la base de formol, quinona y otros productos. Estos curtientes proporcionan un curtido más uniforme y aumentan la penetración de los taninos. Debido a sus costos elevados, son poco usados.

2.4.1.3 Post Curtido:

El post-curtido del cuero curtido al cromo, consiste en operaciones de neutralización (a fin de elevar el PH del cuero a un valor inicial apto para realizar las operaciones posteriores), recurtido (a fin de darle más cuerpo y, en algunos casos, más resistencia al cuero, incluyendo características de manejabilidad, suavidad y uniformidad en las propiedades físicas del cuero), teñido (para darle la tonalidad y uniformizar el color de un lote de cueros) y engrasado (para restituir el contenido graso del cuero, que le confiere ciertas características físicas al producto acabado, tales como la flexibilidad).

Si bien estas operaciones pueden llevarse a cabo por separado, en la práctica se realizan dos o más de éstas en forma simultánea. Por ejemplo, el recurtido y neutralizado normalmente se realizan en un mismo baño; el teñido y engrasado en otro, e incluso, es posible realizar las cuatro operaciones en el mismo baño, cambiando solamente la composición de los baños después de descartar el baño anterior, y tarda de 5 a 10 horas dependiendo del tipo de cuero a procesar

2.4.1.4 Etapa de acabado:

Son operaciones esencialmente de superficie. Con los acabados se le confiere al cuero el aspecto final, que en algunos casos mejora la presentación y la selección, pero en otros prima la resistencia al uso, como en los cueros para tapicería automotriz. Se proporciona al cuero protección contra daños mecánicos, la humedad y la suciedad, así como el efecto de moda deseado: brillo o mate bicolor entre otros. Durante la etapa de acabado también se igualan las tinturas y se puede reconstruir artificialmente la superficie flor del cuero esmerilado. En términos generales, consiste en la aplicación de una serie de capas de una mezcla de resinas, pigmentos y auxiliares, para finalizar con una capa final (base nitro, poliuretánico o proteínico) que confieren una mayor solidez y regula el grado de brillo. En algunos casos se retira previamente parte de la flor natural del cuero para corregir notorias imperfecciones y entonces se denomina "flor corregida". La imitación de flor original se consigue mediante grabado en la prensa. En todos los casos se hace necesaria la aplicación de uno o más prensados durante o al final de toda la fase de acabado. Al final se efectúan la clasificación, medición y el empaque. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Republica de Colombia, 2006)

2.5 Residuos contaminantes del proceso de curtido de cuero

La industria tradicional de curtido de cuero es caracterizada como una industria de alto consumo de recursos, contaminación, destrucción de las cadenas biológicas y desperdicio de recursos. Estadísticamente la capacidad mundial de producción de cuero es de $1,5 \times 10^{10}$ kg por año y la descarga de agua es de más de $1,5 \times 10^{10}$ kg por día, la generación de residuos sólidos está estimada en 6×10^9 kg por año. (Jing Hu, 2011).

Los principales residuos ambientales por etapa del proceso de curtido son:

2.5.1 Etapa previa

Proceso de recepción de pieles: Aporte de carga orgánica en los efluentes finales por el contenido de sangre, así como aumento de sal en los vertimientos por la necesidad de conservar las pieles. Se generan recortes de cuero salado. (Eliana Esparza, 2001)

Salado de pieles: Generación de aguas con sal, que por su alta solubilidad, es muy difícil de eliminar de las aguas residuales y es un proceso muy costoso

2.5.2 Etapa de ribera:

Proceso de remojo: Se generan aguas residuales con altas concentraciones de carga orgánica, sal, solución de sal con sangre, bactericidas, tensoactivos, carga orgánica.

Pelambre: El pelambre constituye la operación que genera la mayor parte de la contaminación en una curtiembre. Se generan aguas residuales alcalinas con alta

concentración de sólidos suspendidos y disueltos: materia orgánica animal, sulfuros, SH- y sulfatos de sodio, pelo, cal y carbonatos. (Dima W. Nazer, 2006). El pelo es el principal contaminante y puede ser reusado como abono orgánico luego de un proceso de limpieza. (Kurian Joseph, 2009)

Descarne: Generación de aguas conteniendo residuos provenientes del lavado de máquinas, y de residuos sólidos con materia orgánica animal, esta materia orgánica se encuentra contaminada con los productos químicos utilizados en el proceso de pelambre. (Centro nacional de promoción de tecnologías sostenibles, 2003)

Desencalado y purgado: Afectación a las aguas por efluentes con enzimas, proteínas, grasas emulsionadas, tensoactivos, sales de calcio, amonio, sodio y en ocasiones vestigios de pelo y aserrín, los cuales elevan las cifras de la DBO.

2.5.3 Etapa de piquelado y curtido al cromo

Piquelado: Afectación a las aguas por efluentes de ácidos minerales, orgánicos y sales de curtido al cromo. Aguas residuales con alto contenido de cromo, ya que el cromo se adiciona en exceso, también quedan pequeñas fibras de cuero curtido. El cromo debe recircularse en el proceso con el fin de lograr un mayor agotamiento de este. (P. Thanikaivelan, 2003).

Fijación: Afectación al agua por efluentes con sólidos solubles y suspendidos: sales de sodio, cromo(III) y magnesio, ácidos minerales y orgánicos.

Escurrido: Aguas con residuos de cromo.

Recortado y rebajado: Residuos sólidos con cromo.

2.5.4 Etapa de postcurtido y terminado en húmedo

La etapa de postcurtido y terminación en húmedo aporta solo un 5% de la DQO total del efluente, pero su reducción no deja de ser un aporte a la calidad de éste. Los principales efluentes son cromo, sales de sodio, grasas emulsificadas, ácidos orgánicos, grasa, aceites, anilinas y sustancias orgánicas. (Instituto Nacional de Ecología, 1999).

2.5.5 Etapa de acabado

Esta etapa no tiene un consumo significativo de agua y los residuos que se producen son en su mayoría sólidos y gaseosos. En la etapa de impregnación y pigmentación se generan sólidos en suspensión y solventes evaporados y en la etapa de esmerilado se producen grandes cantidades de polvos orgánicos. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Republica de Colombia, 2006).

Hasta aquí la descripción del proceso de curtido de cuero y los efluentes contaminantes que se producen, en adelante se presentan las actividades realizadas para recolectar la información requerida en este proyecto.

3. Método de solución

Luego del conocimiento del estado del arte en cuanto a la parte ambiental y técnica de las empresas dedicadas a la curtición en general, se decidió realizar el siguiente enfoque para solucionar el problema específico de la empresa Inversiones J y D

Primero: Se realizó una entrevista con el jefe de producción de la empresa en cuestión acerca de los procesos más contaminantes de la empresa y se recolectó información acerca de la situación actual del proceso, la maquinaria que usa en cada proceso, personal empleado, consumos de energía, agua y productos químicos, caracterización de los vertimientos. Teniendo en cuenta estas entrevistas se tomó la decisión de enfocar el proyecto en los procesos que mas usan agua y que más contaminan que serian todos los procesos hasta curtido.

Segundo: Se contactó a los proveedores de tecnología BAT para la industria del curtido de Cuero, con el fin de recolectar información acerca de las ventajas ambientales y económicas de las mejoras en los procesos que ellos ofrecen y los precios de los equipos, las empresas consultadas fueron las siguientes:

- Rizzi Spa de Italia (Contacto Marco Ficcini). Empresa Italiana fundada en 1857, es una de las empresas más tradicionales en la fabricación de máquinas de diferentes tipos para la industria del cuero. Rizzi Spa es la creadora del sistema de descarnado de pieles frescas, este sistema permite disminuir el peso de las pieles retirando los residuos de carne y grasa que quedan pegados luego del proceso de desollamiento de la res, y antes de contaminarlo en el proceso con productos químicos, por lo que este residuo puede ser comercializado y se usa una menor cantidad de productos químicos en los procesos sucesivos debido al menor peso de las pieles.
- Hüni AG, Process Controls de Suiza (Contacto Giuseppe Peretti). Empresa fundada en 1728, empresa líder mundial en fabricación de sistemas de automatización de

procesos en la industria del curtido y son los creadores del sistema de aletas internas en los bombos de curtido para ahorro de energía, agua y productos químicos. El principio de este sistema de aletas es que los cueros son levantados internamente en el bombo y arrojados al agua a una mayor altura, lo que permite una mayor acción mecánica internamente con una menor velocidad de rotación del bombo y una mayor penetración de los productos químicos, logrando con esto ahorros en energía con motores más pequeños, productos químicos y agua. Estos bombos pueden ser usados en los procesos de pelambre, curtido y recurtido de cueros con los mismos beneficios.

- S.C Costruzioni Meccaniche de Italia (Contacto Fabio Scardigli). Empresa fundada en 1985 fabricante de filtros mecánicos para remoción de sólidos de las aguas residuales de diferentes tipos de industrias. S.C es el principal fabricante a nivel mundial de filtro para separación de pelo en el proceso de pelambre. Este proceso se debe llevar a cabo en la etapa inicial del pelambre con el fin de evitar que los pelos se quemem químicamente y no sea posible separarlos. El solo uso de este filtro permite una disminución de hasta el 60% de los niveles de DQO (demanda química de oxígeno) y el 50% los sólidos suspendidos al final de tubería de todo el proceso (Catalogo S.C Costruzioni Meccaniche) Los ahorros en la compra de este filtro se ven en una disminución en la tasa retributiva por los vertimientos a cuerpos de agua y disminuye considerablemente el tamaño de una planta de tratamiento de efluentes al final de tubería. Para este trabajo solo tendremos en cuenta el ahorro en la tasa retributiva. S.C también fabrica filtros rotativos para separación de sólidos en la etapa de curtido, estos filtros permiten recircular completamente el agua del proceso de

curtido que usualmente posee cromo remanente y usarla nuevamente en otros procesos solamente realizando ajustes en la formulación y concentración del cromo.

Tercero: Con la información suministrada por los proveedores se calculó el costo de inversión inicial de cada uno de los cambios propuestos en el proceso, teniendo en cuenta costos de importación, transporte, instalación y puesta en marcha y también se calculó el beneficio económico para la empresa por los ahorros en productos químicos, energía y agua producidos al aplicar éstas nuevas tecnologías.

Cuarto: Se utilizó el polígono radial para evaluar cuál de las tecnologías propuestas es la más eficiente con respecto a seguridad industrial, tecnología, método de operación, aspectos ambientales, costos de inversión y ahorro de suministros, se aplicó a cada una de las tecnologías propuestas, y a la suma de las mismas.

Quinto: Con los datos calculados de los ahorros e inversiones, se realizó un flujo de caja a 10 años, adicionando los costos de las inversiones como gasto y los ahorros percibidos como entrada, luego se analiza esta información usando indicadores financieros como Pay Back Time (PBT), Valor Presente Neto (VPN), Repaid Rate (RPR) y la tasa interna de retorno (TIR). La aplicación del presente método a la empresa Inversiones J&D y A y Cía se muestra a continuación

4. Estado actual de la empresa en estudio

Inversiones J&D y A y Cía S.C.A. C.I., es una empresa curtidora de cuero fundada en el año 1994, ubicada en el área de La María en el municipio de Calarcá, departamento del Quindío, hace parte de la Asociación de Curtidores de la María y la ANDI y está certificada en la norma ISO 9001 Versión 2008.

Esta empresa produce actualmente alrededor de 3,700 pieles enteras por mes, la mayoría de éstas son producidas en mitades para la industria del calzado principalmente, en la actualidad la empresa tiene 42 empleos directos, ocupa un lote de 800 metros en dos pisos y el valor total de sus activos es de \$3.124'194.330 ésta empresa es clasificada como de tamaño mediano.

Las etapas productivas inician con la compra de pieles frescas o saladas, que pasan por los procesos de predescarne, pelambre, curtido y recurtido, procesos mediante los cuales se transforman las pieles en cuero.

En este momento la empresa está trabajando las fases de pelambre y curtido en bombos de tacos fabricados nacionalmente, sin filtración alguna, el descarnado se realiza después del proceso de pelambre y dividen el cuero en una maquina Turner 537 que es una máquina de tecnología muy anticuada.

Con el objeto de establecer una línea base para evaluar los beneficios ambientales que se obtendrán con la modernización tecnológica que se va a proponer en este proyecto, se hizo una visita a la empresa y se recolectaron caracterizaciones recientes de efluentes y se obtuvo la información sobre de consumos de agua y energía por piel curtida.

Los valores promedios obtenidos en esta evaluación se presentan a continuación

Indicadores actuales:

- Consumo energético: 6.63 kW/piel
- DQO por piel: 4.124,880 mg O₂/ piel
- Porcentaje de recirculación del baño de cromo: 0%
- Costo del litro de agua (acueducto y alcantarillado): \$2.75
- Costo del kWh de energía en Calarcá: \$380
- Costo de disposición de lodos: \$665.000/ton
- Costo de insumos pelambre por piel (remojo, pelambre y desencalado) se muestran en la tabla 2

Tabla 2: Costo de insumos en el proceso de pelambre

| Sustancias | Unidad | Cantidad | Costo Unitario \$ | Costo por piel \$ |
|------------------|-------------|----------|-------------------|-------------------|
| Agua | Litros/piel | 280 | 2,75 | 770 |
| Energia | Kwh/piel | 3,71 | 380 | 1410 |
| Cal | Kilos/piel | 1,12 | 470 | 526,40 |
| Sulfuro de Sodio | Kilos/piel | 0,7 | 2095 | 1466,50 |
| Soda Caustica | Kilos/piel | 0,056 | 2600 | 145,60 |

Fuente: Entrevista con el jefe de producción de la empresa estudiada

Tabla 3: Costo de Materias Primas en el Proceso de Curtición (curtido y piquelado)

| Sustancias | Unidad | Cantidad | Costo Unitario \$ | Costo por piel \$ |
|------------------------|-----------|----------|-------------------|-------------------|
| Agua | Lt/piel | 46,80 | 2,75 | 128,7 |
| Energía | Kwh/piel | 2,90 | 380 | 1102 |
| Sulfato de amonio | Kg/piel | 0,45 | 860 | 387 |
| Metabisulfito de sodio | Kg/pieles | 0,054 | 1750 | 94,5 |
| Enzima | Kg/piel | 0,0216 | 5300 | 114,5 |
| Sal Marina | Kg/piel | 1,26 | 285 | 359,1 |
| Ácido Fórmico | Kg/piel | 0,108 | 2950 | 318,6 |
| Ácido Sulfúrico | Kg/piel | 0,23 | 3000 | 690 |
| Cromo | Kg/piel | 1,17 | 2800 | 3276 |
| Bicarbonato de sodio | Kg/piel | 0,36 | 1300 | 468 |
| Fungicida | Kg/piel | 0,009 | 23000 | 207 |
| Total | | | | 6289,1 |

Fuente: Entrevista con el jefe de producción de la empresa estudiada

5. Factibilidad Técnica

Luego de revisar la situación actual de la empresa, identificar los procesos más contaminantes y evaluar los equipos que los fabricantes proponen que contribuirán a una disminución de la contaminación generada en la empresa y a la vez contribuirán a ahorrar costos en los procesos, se proponen los siguientes cambios:

Descarne de pieles frescas (predescarne)

Cerca del 8% del peso de las pieles obtenidas mediante separación mecánica en las plantas de beneficio corresponde a grasa y carne que viene pegada en la piel. El proceso de

descarne en fresco o verde permite retirar el 8% en peso antes de los procesos químicos que se realizan en la curtiembre, produciendo un ahorro en agua y productos químicos en ese mismo porcentaje en el proceso de pelambre. Además, el residuo del descarnado de pieles frescas es un residuo con un valor comercial, mientras que el residuo del descarnado en tripa es un residuo por el que actualmente hay que pagar una tasa para desecharlo. Por la razón anterior hay un ahorro en el costo de disposición de residuos y el subproducto del descarnado tiene un valor comercial de \$7,000 pesos por arroba. (Frigorífico Guadalupe, 2014).

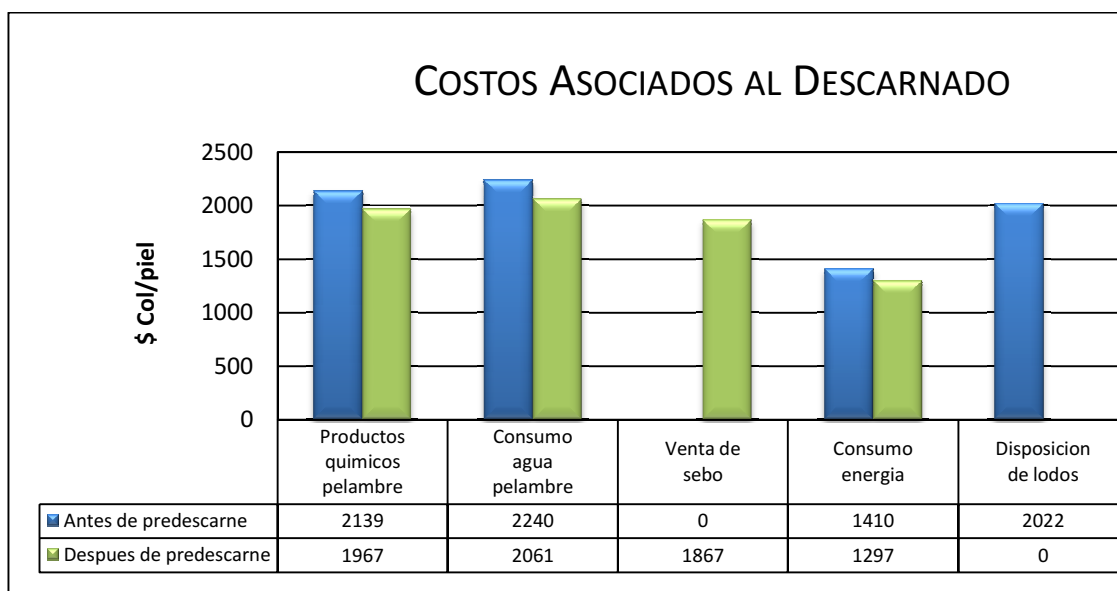
Esta tecnología se ha implementado en la empresa Colombiana de Cueros S.A donde han logrado ahorros en consumos de agua, energía y productos químicos del 7%, así como disposición de residuos, ya que actualmente este residuo del descarnado lo venden y no requieren pagar para su disposición.

Hay varios proveedores para la máquina que se requiere para éste proceso, la mayoría son Italianos, entre estos esta la empresa Rizzi Spa, Mosconi Spa y Poletto Srl. Todos los 3 proveedores afirman que adquiriendo este tipo de máquina, los ahorros en consumos oscilan entre 6 y 10%¹.

El costo de una maquina de este tipo es de 110,000 euros CIF Cartagena nueva o de 66,000 euros CIF Cartagena, repotenciada. Debido a que la empresa estudiada es una empresa de tamaño medio y a la diferencia en el valor de la inversión de una máquina descarnadora nueva y repotenciada, se tomó la decisión de realizar los cálculos de este

¹ Catálogo Rizzi SPA. (s.f.). Scarnatrice fleshing Machine MOD. SGF. Brescia, Italia.

trabajo con una máquina repotenciada con los mismos beneficios y una inversión inicial es más baja.



Gráfica 1: Costo de proceso de pelambre

Fuente: Tabla 4

Uso de bombos con sistema interno de palas

Los procesos en donde se produce mayor cantidad de contaminantes son los procesos de remojo, pelambre, desencalado, piquelado y curtido. Todos estos procesos se realizan en bombos con tacos de madera que debido a la acción mecánica realizada por estos tacos solo se pueden cargar hasta el 50% del volumen total²

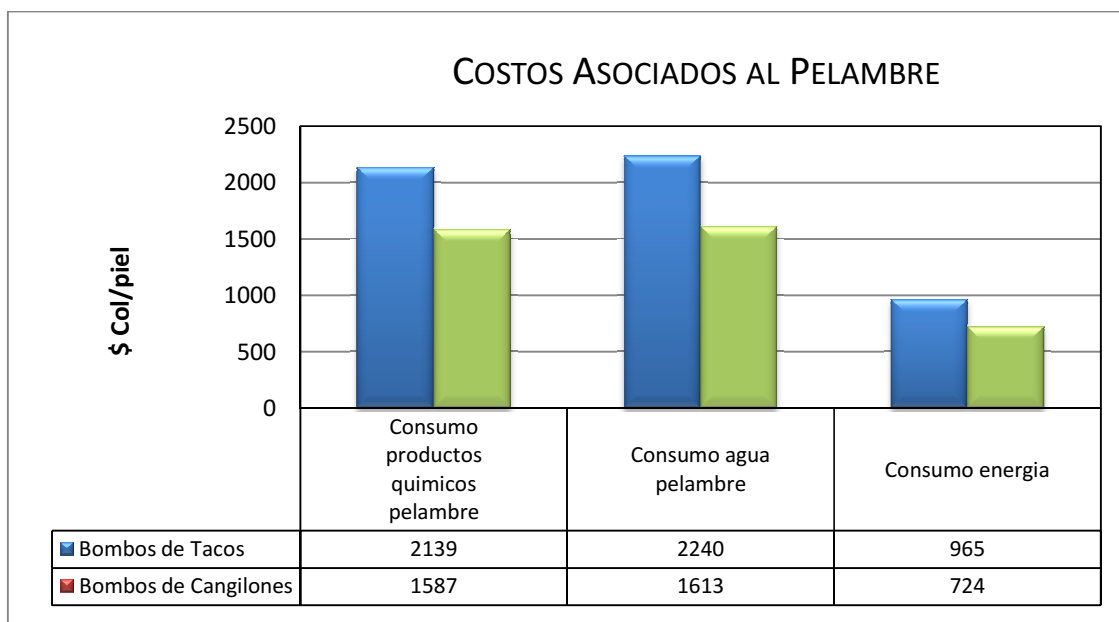
El uso de bombos con aletas con ángulos especiales permite cargar hasta un 78% del volumen total del bombo ya que la acción mecánica es mayor, el consumo energético del es un 25% menos en el proceso de pelambre, tomando como base un bombo de 4000x4000

² Catálogo Hüni AG, Process Controls. (s.f.). HÜNI DRUMS. San Miniato, Italy.

mm y de un 50% en el proceso de curtido tomando como base un bombo de 3500x3500 mm.

Además el uso de bombos con aletas permite cargar entre un 30 a 50% más de pieles en el mismo baño, produciendo un ahorro de agua de 23 a 33% y un ahorro de productos químicos en igual porcentaje².

En Colombia se ha implementado una tecnología similar pero de otro proveedor en Curtiembres Búfalo S.A de Barranquilla y han logrado cargar 45% más de pieles en el mismo baño, disminuyendo en un 30% el consumo de productos químicos y en más de un 50% el consumo energético por piel. El costo de un bombo de este tipo es de 70,000 euros de medidas 4000x4000 mm y de 60,000 euros de medidas 3500x3500 mm, los precios son CIF Cartagena. Teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante² el ahorro en agua y productos químicos se tomó para los cálculos un valor de 28%, punto medio del rango definido como entre 23 a 33% y el ahorro de energía de 25% los costos asociados al pelambre en Bombos de Cangilones Vs Bombos de Tacos se muestran en la gráfica 2



Gráfica 2: Costos Asociados al Pelambre

Fuente: Tabla 4

Filtración del baño de pelambre con filtro de tornillo

La filtración del baño de pelambre es un proceso mecánico mediante el cual se pasa por un filtro de tornillo el baño del pelambre en el momento de la depilación para remover el pelo contenido en el baño y evitar su destrucción dentro de los bombos. Esta tecnología no ha sido utilizada todavía en Colombia pero es usada ampliamente en los países europeos, así como también en Brasil y Argentina.

En Ecuador, la empresa Curtiduria Tungurahua acaba de adquirir un filtro de este tipo y han logrado una disminución de DQO en un 40% y sólidos suspendidos en un 50%.

Según el proveedor de este tipo de filtros, la empresa Italiana S.C Construzioni Meccaniche, el uso de este filtro disminuye entre un 30-50% el DQO y entre un 40-60% los

sólidos suspendidos al final del proceso³. Adicionalmente hay una disminución en los porcentajes de sulfuro y amonio.

Este proceso requiere un cambio en la formulación química que es un poco más costoso que la formulación usada actualmente. Este filtro no representa un ahorro económico para la empresa en los procesos pero si en el tratamiento de agua al final del tubo y en el pago de la tasa retributiva por vertimiento en cuerpos de agua. La tasa retributiva es un cobro que realiza la autoridad ambiental regional que se cobrará a los usuarios por la utilización directa o indirecta del recurso hídrico para recepción de vertimientos puntuales y sus consecuencias nocivas, originados en actividades propiciadas por el hombre, sean o no lucrativas y que los límites de estas descargas estén por encima de los límites permisibles.

El indicador para el cobro de la tasa retributiva más usado es la carga contaminante de DQO en kilogramos por día, que se calculó con los datos de las caracterizaciones entregadas por la fábrica, usando la formula:

$$CC=Q \times C \times 0,0036 \times t \quad (\text{Fórmula 1})$$

Donde Q: Caudal en lt/min

C: Carga de DBO en mg O₂/lt

0,0036: Factor de conversión

t: Tiempo de vertimiento del usuario en horas/día

³ S.C Construzioni Meccaniche. (s.f.). Hairpress. Empoli, Italia.

La tasa retributiva a pagar se calcula en la siguiente formula:

$$TP = T_m \times Fr \times C \quad (\text{Fórmula 2})$$

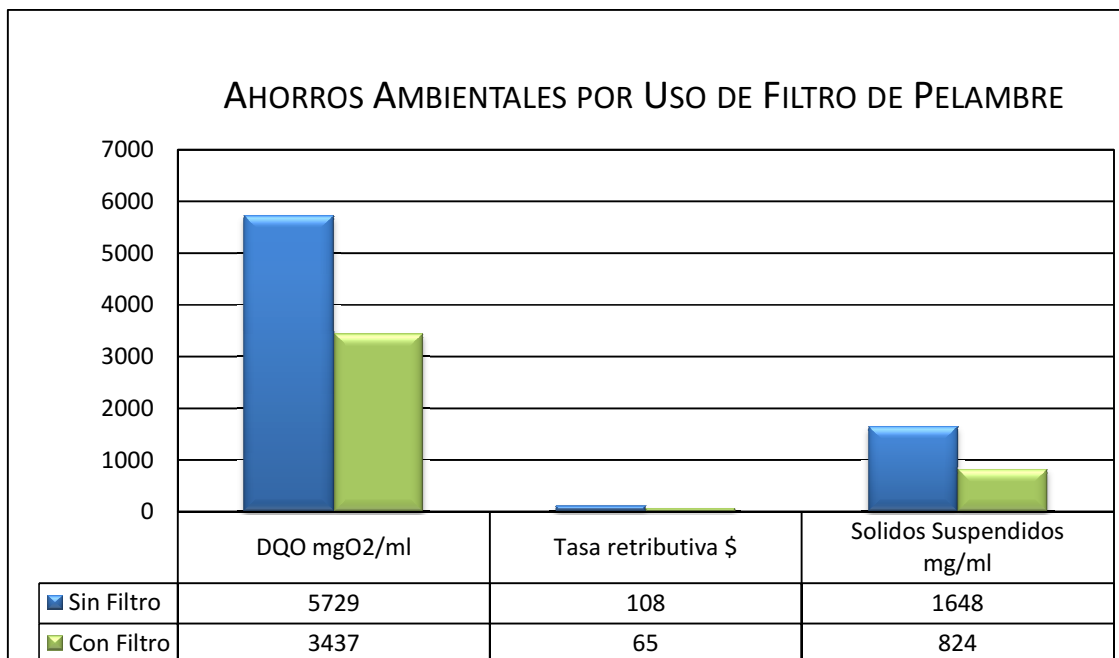
Donde

T_m : Tarifa mínima del parámetro, para el área donde se encuentra la fábrica es \$564/Kg.

Fr : Factor regional que es 1.5

C : Carga contaminante calculada con la fórmula 1

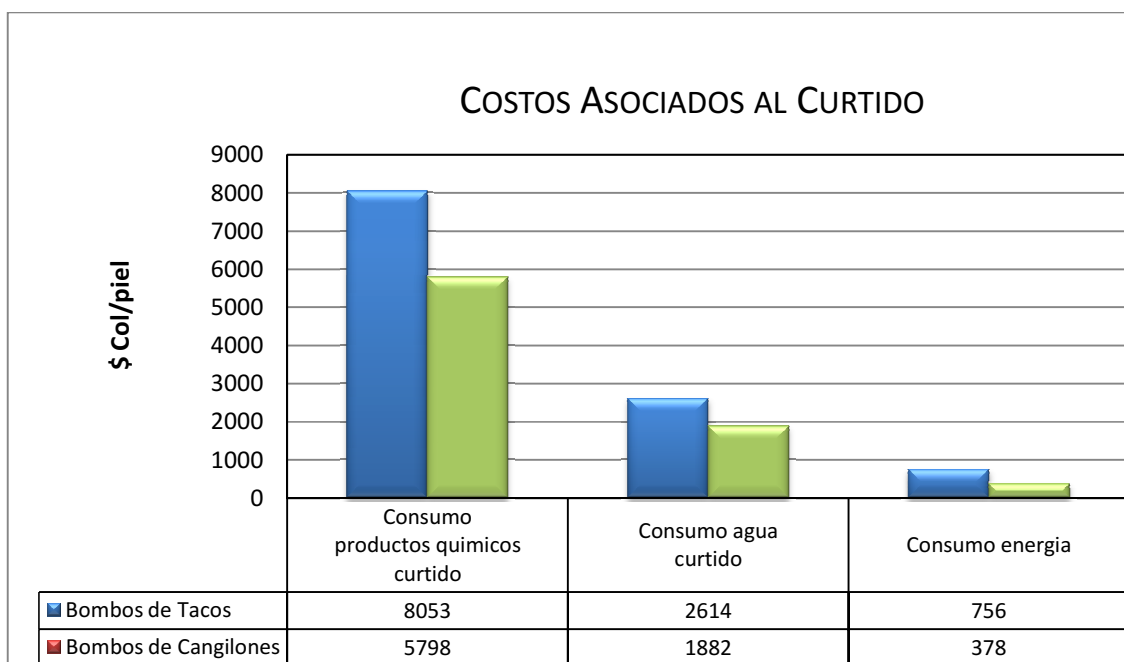
El costo de un filtro de este tipo es de 17,000 euros CIF Cartagena. La gráfica 3 muestra los ahorros ambientales producidos por el filtro de pelambre



Gráfica 3: Ahorro DQO, sólidos disueltos y tasa retributiva en filtro de pelambre Fuente: Tabla 4

Uso de bombos con sistema interno de palas para Curtido

Teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante⁴ el ahorro en agua y productos químicos se tomó para los cálculos un valor de 28%, punto medio del rango definido como entre 23 a 33% y el ahorro de energía de 50%; los costos asociados al curtido en Bombos de Cangilones Vs Bombos de Tacos se muestran en la gráfica 4



Gráfica 4: Costos Asociados al Curtido

Fuente: Tabla 4

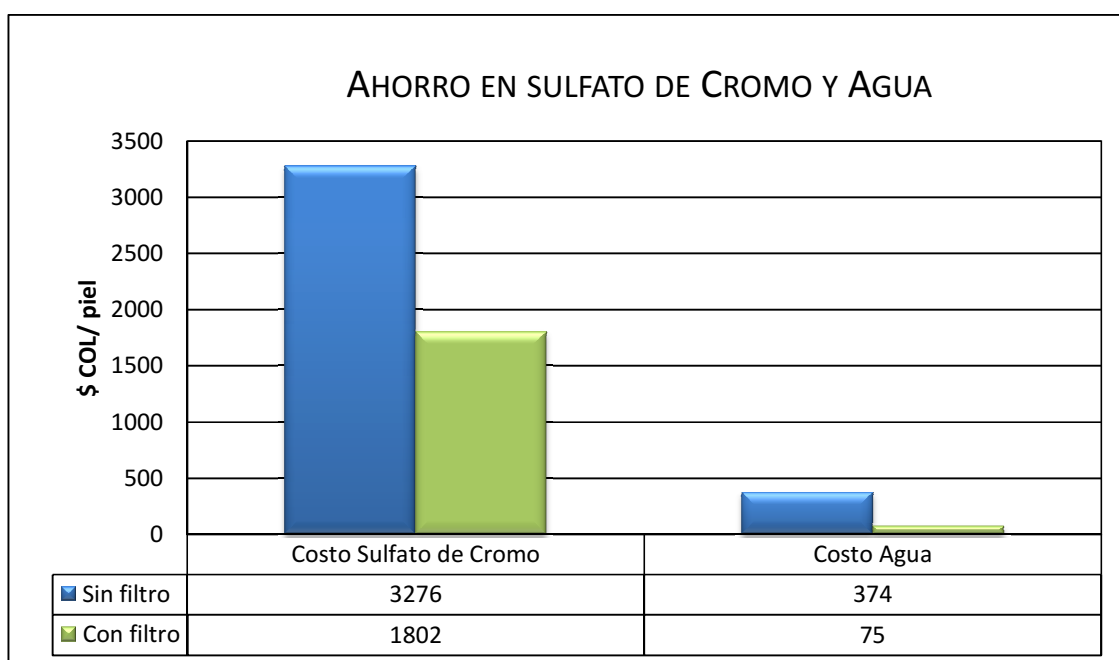
Uso de filtros de sólidos en proceso de curtido para reúso del agua

Existen dos procesos para reusar el cromo en una curtiembre, el primero es la recuperación del cromo sólido, que conlleva a un proceso químico para que el cromo residual pueda ser usado nuevamente, este es un proceso costoso. El otro proceso es la

⁴ Catálogo Hüni AG, Process Controls. (s.f.). *HÜNI DRUMS*. San Miniato, Italy.

filtración del baño de curtido para remover los sólidos suspendidos e impurezas y reutilización de éste adicionando cromo nuevo para usarlo en un nuevo proceso de curtido. Este proceso se puede realizar varias veces siempre y cuando la calidad del producto final sea la misma.

Actualmente ninguna empresa Colombiana realiza esta recirculación del baño, pero según el proveedor el ahorro en Cromo es de un 40% y el ahorro de agua es de 80%⁵. El costo de éste filtro es de 11,000 euros CIF Cartagena.



Gráfica 5: Ahorro en sulfato de cromo y agua.

Fuente: Tabla 4

El método del polígono radial de selección, evalúa varias propuestas tecnológicas en diferentes dimensiones, dando un peso cualitativo a diferentes aspectos de cada dimensión, y comparando finalmente cada una de las tecnologías propuestas para la suma total de las

⁵ S.C Construzioni Meccaniche. (s.f.). *Cleandisc 1C/T - 1C/C*. Empoli, Italia.

dimensiones estudiadas, en el presente caso evaluaron independientemente las tecnologías propuestas y adicionalmente también se evaluó la combinación de todas las tecnologías, las dimensiones evaluadas fueron seguridad industrial, tecnología, método de operación, aspectos ambientales, costos de inversión y ahorro de suministros, los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 6 y el análisis detallado de los pesos de cada una de las dimensiones se muestra en el anexo1.

El polígono radial de selección, se muestra en la gráfica 6.

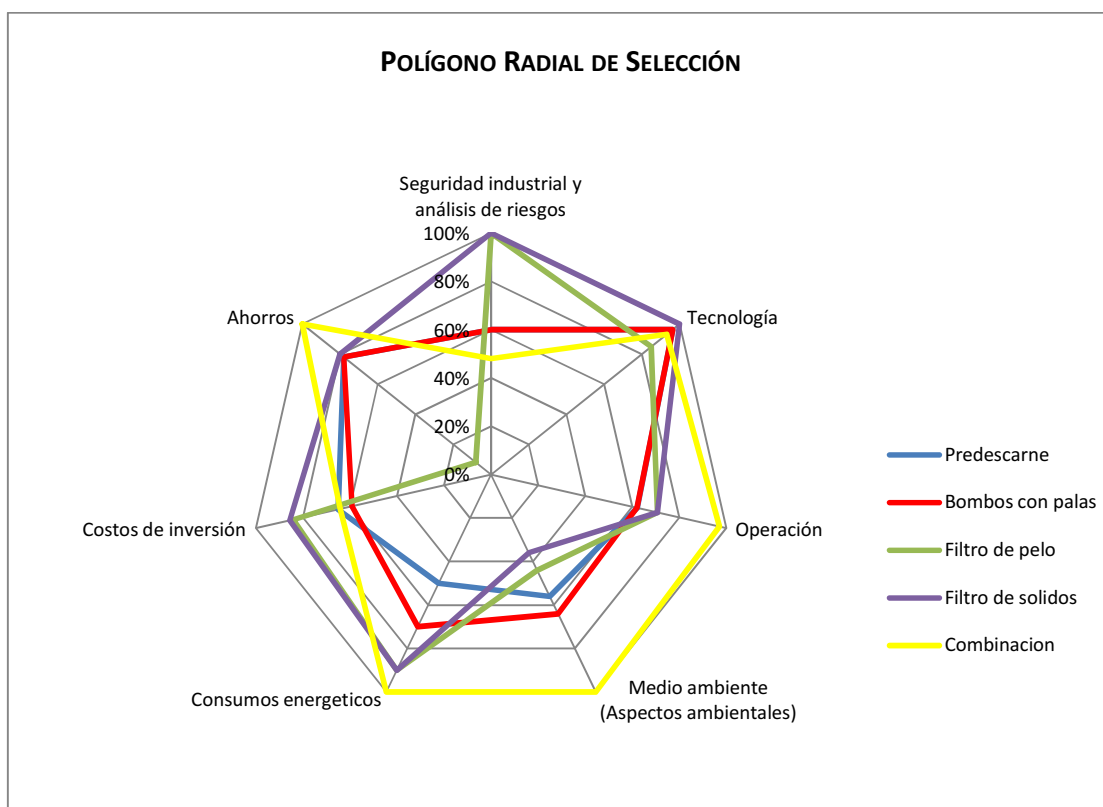
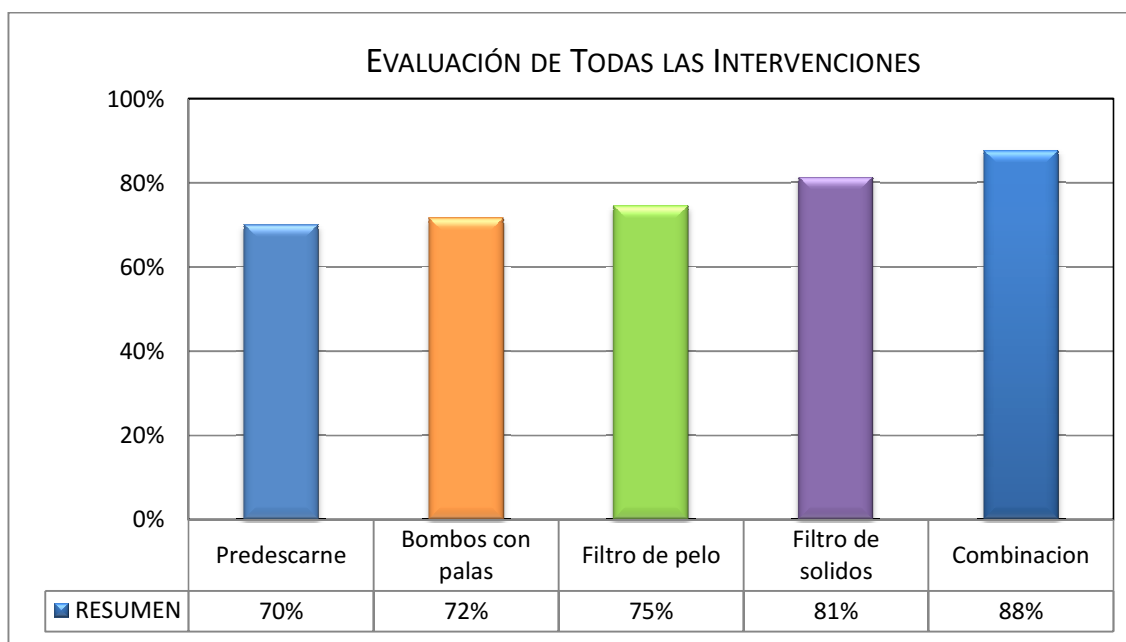


Gráfico 6: Polígono Radial de Selección

Fuente: Anexo 1

El resultado de la suma de todas las dimensiones estudiadas en cada una de las tecnologías propuestas se muestra en la gráfica 7



Gráfica 7: Evaluación de las tecnologías propuestas

Fuente: Anexo 1

En el caso de algunas tecnologías aplicadas, como el filtro de pelo donde los ahorros son mínimos, lo que se tuvo en cuenta fue principalmente el beneficio ambiental.

Los ahorros obtenidos en cada uno de los procesos intervenidos se muestran en la tabla 4

Tabla 4: Ahorros obtenidos en los procesos

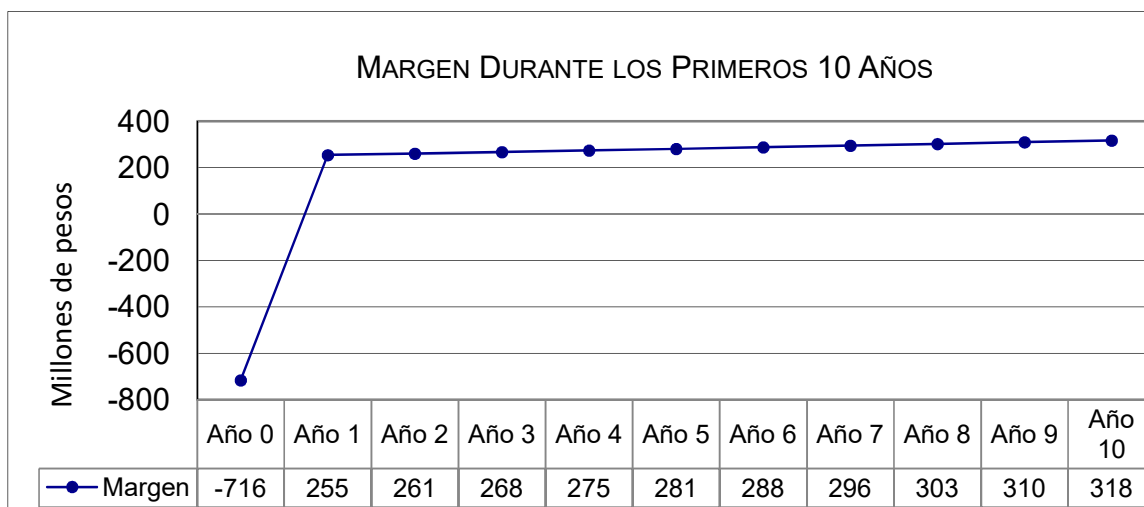
| | Costo productos químicos pelambre | Ahorro productos químicos pelambre | Ahorro agua pelambre | Ahorro energía pelambre | Costo disposición productos químicos | Tasa retributiva | Precio venta sebo | Ahorros totales Mes |
|---|--|---|----------------------------|-------------------------------|---|---------------------|----------------------|------------------------|
| Descarnadora | 7.910.600 | 632.848 | 227.920 | 417.313 | 7.479.920 | | 6.906.667 | 8.184.747 |
| Bombo de pelambre con aletas | 7.277.752 | 2.037.771 | 733.902 | 1.199.774 | | | | 3.971.447 |
| Filtro de pelo | | | | (40.560) | 6.881.526 | 159.866 | | 119.306 |
| Bombo de curtido con aletas | 21.884.390 | 6.127.629 | 133.333 | 2.045.410 | | | | 8.306.373 |
| Filtro de sólidos para bombo de curtido | 21.884.390 | 6.060.600 | 274.285 | (11.700) | | | | 6.334.886 |
| Total | 15.934 | 14.858.848 | 1.369.441 | 3.610.237 | 14.361.446 | 159.866 | 6.906.667 | 26.916.759 |

En resumen el ahorro mensual a partir del primer mes es de \$26'916.759, calculando un flujo de caja tomando los ingresos anuales como los ahorros percibidos por cada una de las inversiones y tomando la depreciación de los equipos como un gasto, con una depreciación lineal a 10 años para cada uno de los equipos adquiridos se obtiene un margen con la siguiente fórmula

$$\text{Margen}_0 = -\text{Inversión Inicial (Fórmula 3)}$$

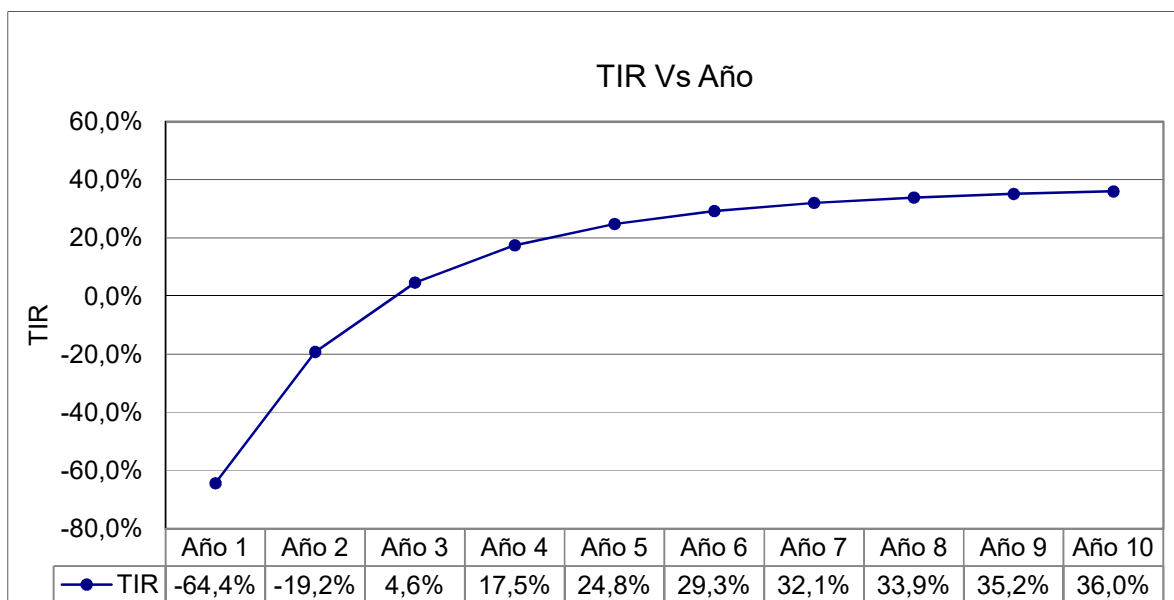
$$\text{Margen}_i = \text{Ingreso}_i - \text{Gasto}_i \quad i=1,2 \dots 10 \text{ (fórmula 4)}$$

La gráfica 8 muestra el margen durante los 10 primeros años



Gráfica 8: Margen durante los 10 primeros años de proyecto Fuente: Tabla A2 Anexo 3

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador de rendimiento de la inversión que permite conocer la tasa de descuento a la que una inversión rinde en un periodo de tiempo determinado. Se calcula la TIR comparando el flujo de dinero (margen) de cada período i contra el período 0 (Inversión inicial), en cada uno de los años del proyecto, los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 9



Gráfica 9: TIR Vs Año

Fuente: Datos TIR tabla A2 Anexo 3

6. Análisis de resultados y Conclusiones

Los indicadores usados para realizar el análisis en este proyecto son: PBT (Pay Back Time), Repaid Rate (RPR), TIR (Tasa interna de retorno), VPN (Valor Presente Neto).

El PayBack time (PBT) es un indicador financiero que indica el tiempo requerido para que una inversión sea pagada en su totalidad, en este caso el valor de PBT es de 33,71 que indica que la inversión completa se pagará en 34 meses aproximadamente, si se toma una vida útil de los equipos de 120 meses (10 años). Luego de 34 meses hasta los 120 meses de cambio de maquinaria, la inversión realizada estará generando ingresos reales a la empresa. El PBT no tiene en cuenta la tasa de interés por lo que puede diferir de otros indicadores financieros usados que incluyan la tasa de interés.

El indicador Repaid Rate (RPR) indica cuantas veces se paga una inversión durante su vida útil, para este caso todos los equipos tienen una vida útil contable de 10 años y el RPR fue de 3.56 indicando que la inversión de estos equipos se paga aproximadamente 3 veces y media durante su vida útil, es importante tener en cuenta que no se tuvo en cuenta los costos de mantenimiento porque serian similares si no se hubiera adquirido máquinas de última tecnología.

La TIR (tasa interna de retorno) es un indicador de rendimiento de la inversión que permite conocer la tasa de descuento a la que una inversión rinde en un periodo de tiempo determinado. Cuando la TIR es 0% significa que en este momento la inversión ha llegado a su punto de equilibrio. Para este proyecto no se tuvo en cuenta costo de repuestos o

mantenimiento de los equipos, ya que en caso de no haber adquirido estos equipos, estos costos también estarían presentes en las máquinas de tecnología anterior.

La TIR A 5 años dio un valor de 24,8 % efectivo anual que indica que en este lapso de tiempo la inversión ya ha sido pagada en su totalidad y es una inversión rentable, para este caso se comparó con los intereses de una línea de crédito ambiental que ofrece la Secretaría de Asuntos Económicos del Gobierno Suizo (SECO) y el Centro Nacional para la Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA) que es DTF mas 5% (Centro Nacional de Producción mas Limpia, 2011), que para la fecha sería DTF=3,85% (Bancolombia S.A, 2014) mas 5%=8,85% efectivo anual (e.a.), por lo tanto este proyecto a 5 años pagaría totalmente los intereses del crédito ambiental y daría una rentabilidad adicional de 15,95% e.a. Para esta comparación no se tomó el costo de oportunidad del inversionista ya que esta es una inversión interna de la empresa, tampoco se tomó la inflación debido a que ambas tasas se ven afectadas por la inflación. La TIR a 10 años, que sería el mismo tiempo de vida útil de los equipos adquiridos es de 36% efectivo anual, con lo cual se pagaría el crédito a 5 años con una rentabilidad libre de 36% en los últimos 5 años.

El Valor Presente Neto, calculado tomando como tasa de interés la misma de la línea de crédito ambiental que al día sería 8,85% tiene un valor de \$1.008'265.000 a 10 años y \$299'764.870 a 5 años lo que indica nuevamente que es una inversión bastante rentable ya que el valor de lo que se ahorra anualmente por la inversiones realizadas en mejoras tecnológicas y ambientales, supera al valor total de la inversión, dando en ambos casos valores positivos.

Una planta de tratamiento de efluentes a final de tubo que cumpla completamente las regulaciones exigidas para vertimientos en Colombia cuesta aproximadamente 2.000 euros por metro³/día de agua y una disminución del DQO reduce en un 20% adicional el valor de la planta de tratamiento, por esta razón el ahorro total de consumo de agua conseguido de 16 metros³/día (tabla 4), disminuye la inversión inicial en 32.000 euros, más el 20% por la disminución del DQO sería 45.200 euros. (Información suministrada por la empresa Deltacque de Italia www.deltacque.com).

Es importante tener en cuenta que estas inversiones, en caso que no fueran rentables para la empresa son inversiones que se deben realizar, ya que la ley exige el cumplimiento de las regulaciones de vertimientos y de no cumplirlas, las empresas pueden enfrentar desde cerramientos temporales con multas hasta cárcel para los dueños, pero es importante mostrarle a los dueños de las empresas de curtiembre que además de cumplir la ley pueden obtener ingresos importantes para sus empresas.

En estos momentos la sostenibilidad ambiental es uno de los temas que más se están teniendo en cuenta en las organizaciones, no solamente por ser amigables con el medio ambiente, sino por la responsabilidad social que esto conlleva con la comunidad y el medio ambiente.

En conclusión estas inversiones, aparte de ser muy beneficiosas ambientalmente para la empresa y el sector, ofrecen una buena rentabilidad con respecto a la tecnología usada actualmente en la empresa en estudio.

7. Referencias

- Amaya, F. R. (2010). *Estudio Económico-financiero del aprovechamiento de las grasas extraídas del residuo del descarte (unche) derivado del proceso de curtición en el municipio de Villa Pinzón-Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- ANDI. (2005). *Camara sectorial del cuero-Información sobre curtiembres a Diciembre de 2004*.
- Bancolombia S.A. (10 de 6 de 2014). *Bancolombia*. Recuperado el 10 de 6 de 2014, de www.grupobancolombia.com
- Barragán, C. (2010). *Science, Technology and Innovation*. Obtenido de Boosting profits and benefitting the environment in Latin America: The tannery case: <http://www.science.oas.org/ENVIRO/textiles%20and%20leather%20sectors.pdf>
- Becker J, K. M. (2003). *Process management: a guide for the design of business*. Springer, Berlin.
- Benítez-Campo, N. (2011). Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembres. *Ambiente y Sostenibilidad*, 25-31.
- Centro Nacional de Producción mas Limpia. (2011). *Linea de credito ambiental*. Recuperado el 20 de 6 de 2014, de www.lineadecreditoambiental.org
- Centro nacional de promoción de tecnologías sostenibles, C. (2003). *Guía técnica de producción mas limpia para curtiembres*. Bolivia.
- Consejo empresarial mundial para el desarrollo sostenible. (2002). *El caso empresarial para el desarrollo sostenible*. Johannesburgo.
- Diario Oficial . (12 de Septiembre de 1997). *Secretaría del Senado*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1997/ley_0388_1997.html
- Dima W. Nazer, R. M.-S. (2006). Reducing the environmental impact of the unhairing-liming process in the leather tanning industry. *Journal of cleaner production* 14, 65-74.
- Eliana Esparza, N. G. (2001). Contaminación debida a la industria curtiembre. *Revista de química Vol XV No 1*, 41-63.

- FAO. (1 de Julio de 2004). *Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación*. Recuperado el 24 de Mayo de 2014, de <http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/transfron/eeb/pobo.htm>
- FEDEGAN. (01 de Mayo de 2011). *Proyectos Navarra*. Recuperado el 24 de Mayo de 2014, de <http://www.slideshare.net/PROYECTOSNAVARRA/colombia-situacion-actual-y-futura-sector-carne-bovina-fedegan>
- Forum Ambiental. (2003). *Guía para la Ecoeficiencia*. Obtenido de <http://www.forumambiental.org/pdf/guiacast.pdf>
- Frigorífico Guadalupe. (1 de Junio de 2014). *Frigorífico Guadalupe*. Recuperado el 10 de Junio de 2014, de <http://www.efege.com.co/>
- García, E. M. (2008). Economía ecológica frente a economía industrial. El caso de la industria de la curtiduría en México. *Argumentos*, Vol 21, N° 26, 55-71.
- Hammer, M. (2007). The process audit. *harvard business review* (April 2007), 111-123.
- Huffner, T. (2007). *The BPM maturity model- towards a framework for assessing the business process management maturity of organisations*. Master thesis, University of Karlsruhe, GRIN Publishing.
- Instituto Nacional de Ecología, S. (1999). *Manual de procedimientos para el manejo adecuado de los recursos de la curtiduría*. México.
- Jing Hu, Z. X. (2011). Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, 221-228.
- José Francisco Vidaurri Ramírez, J. M. (2011). Nexo entre desarrollo económico de la industria curtidora y la sustentabilidad. *Gestión y estrategia* No 40, 39-50.
- Kurian Joseph, N. N. (2009). Material flows in the life cycle of leather. *Journal of Cleaner Production* 17, 676-682.
- Lee J, L. D. (2007). An overview of the business process maturity model. *Shan H, China Journal (eds) advances in web and network technologies, and Information management, APWeb/ WAIM 2007 international workshops, LNCS 4537, Springer, Berlin*, 384-395.
- Meadows, D. (1972). *Los límites del Crecimiento*. Bogotá: Fondo de Cultura Económica.
- Ministerio de ambiente, Perú. (2009). *Guía de ecoeficiencia para empresas*.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Republica de Colombia. (2006). *Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros*. Bogotá.

- P. Thanikaivelan, J. R. (2003). Approach towards zero discharge tanning: role of concentration on the development of eco-friendly liming–reliming processes. *Journal of cleaner production* 11, 79-90.
- Paulk M, W. C. (1993). *Capability maturity model for software, Version 1.1*. Obtenido de Software Engineering Institute, Carnegie Mellon, Pittsburgh:
<http://www.ercis.de/ERCIS/research/competencecenter/>
- PMI, P. m. (2011). *The bottom line on sustainability*.
- Recker, J. (2010). Opportunities and constraints: the current struggle with BPMN. *Business Process Management Journal*, Vol 16, N° 1, 181-201. .
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2003). *Normatividad Ambiental y Sanitaria*. Obtenido de
http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm
- Universidad de Santiago de Compostela. (2007). *Producción limpia en la industria de curtiembre*. Santiago de Compostela: Servicio de publicaciones e intercambio científico.
- WBCSD y UNEP. (1997). *Eco-Efficiency and Cleaner Production*.
- World Business Council for Sustainable Development. (2000). *Eco-efficiency: creating more value with less impact*.

Anexo 1

Polígono Radial de selección: Peso asignado a cada uno de los ítems estudiados por cada una de las dimensiones evaluado para cada una de las tecnologías

1. Seguridad industrial y análisis de riesgos

| | Item | Peso por ítem en % | Marco Referencia | Pre descarte | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinación |
|---|---|--------------------|------------------|--------------|------------------|----------------|-------------------|-------------|
| 1 | ENTORNO GENERAL (Requerimientos de seguridad industrial para área ubicación planta, red contra incendio, insonorización, control olores, etc) | 40% | 100% | 60% | 60% | 100% | 100% | 40% |
| 2 | ENTORNO ESPECIFICO (Normas de seguridad y riesgos durante la operación) | 40% | 100% | 50% | 50% | 100% | 100% | 40% |
| 3 | NORMAS ESPECIALES DE SEGURIDAD | 20% | 100% | 80% | 80% | 100% | 100% | 80% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 60% | 60% | 100% | 100% | 48% |

2. Tecnología

| | Item | PESO POR ÍTEM EN % | Marco Referencia | Predescarte | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinación |
|---|---|--------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|-------------------|-------------|
| 1 | IMPLEMENTACIÓN (complejidad, áreas requeridas, etc) | 3% | 100% | 50% | 50% | 100% | 100% | 50% |
| 2 | DIVERSIDAD DE PROCESOS Y OPERACIONES | 3% | 100% | 60% | 60% | 100% | 100% | 60% |

| | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 | DIVERSIDAD DE EQUIPOS | 3% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 80% |
| 4 | SUBPRODUCTOS GENERADOS | 3% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 5 | APLICACIONES SIMILARES Y EXPERIENCIA EXITOSA | 20% | 100% | 100% | 100% | 30% | 100% | 100% |
| 6 | NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO | 3% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 7 | INTERCAMBIABILIDAD Y COMPLEMENTARIEDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS | 5% | 100% | 80% | 80% | 80% | 100% | 30% |
| 8 | PROVEEDORES (Confiabilidad, disponibilidad y acceso a la tecnología, experiencias, atención post venta, diversidad, atención cercana, representantes, agentes comerciales, proveedores locales, etc.) | 40% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 9 | VIGENCIA TECNOLÓGICA (Estado de desarrollo de la tecnología: investigación, desarrollo, innovación, mercado, emergente) | 20% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 96% | 96% | 85% | 100% | 93% |

3. Operación

| | Item | Peso por ítem en % | Marco Referencia | Predescarne | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinacion |
|---|---|--------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|-------------------|-------------|
| 1 | COMPLEJIDAD | 5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 70% |
| 2 | RANGO DE CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN Y OPERACIÓN. | 55% | 100% | 60% | 60% | 60% | 60% | 100% |
| 5 | COSTOS DE INSUMOS (Insumos, químicos, catalizadores, aditivos, mano de obra y otros recursos. Eficiencias de uso de recursos) | 30% | 100% | 50% | 50% | 80% | 80% | 100% |
| 6 | CONFIABILIDAD Y FLEXIBILIDAD DE LA OPERACIÓN | 1% | 100% | 100% | 80% | 60% | 60% | 40% |
| 7 | MANTENIMIENTO (Requerimientos de repuestos, mantenimiento preventivo y correctivo, overhauls, paros y frecuencias) | 4% | 100% | 80% | 80% | 80% | 80% | 80% |

| | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | UTILITIES REQUERIDOS (Requerimientos y consumos unitarios de vapor, electricidad , hidrocarburos y otros energéticos, aire comprimido, vacío, fuídos térmicos. Eficiencia energética) | 5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 62% | 62% | 71% | 71% | 97% |

4. Medio ambiente (Aspectos ambientales)

| | Item | Peso por ítem en % | Marco Referencia | Predescarne | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinacion |
|---|--------------|--------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|-------------------|-------------|
| 1 | DQO | 40% | 100% | 50% | 70% | 70% | 50% | 100% |
| 2 | CONSUMO AGUA | 40% | 100% | 50% | 50% | 0% | 0% | 100% |
| 3 | RESIDUOS | 10% | | 70% | 70% | 70% | 70% | 100% |
| 4 | VERTIMIENTOS | 10% | | 90% | 90% | 90% | 90% | 100% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 56% | 64% | 44% | 36% | 100% |

5. Consumos energéticos

| | | PESO POR ÍTEM EN % | Marco Referencia | Predescarne | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinación |
|---|-------------------|--------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|-------------------|-------------|
| 1 | AHORRO ENERGETICO | 100% | 100% | 50% | 70% | 90% | 90% | 100% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 50% | 70% | 90% | 90% | 100% |

6. Costos de inversión

| | | PESO POR ÍTEM EN % | Marco Referencia | Predescarne | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinación |
|---|-------------------------|--------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|-------------------|-------------|
| 1 | EQUIPOS PRINCIPALES | 40% | 100% | 60% | 60% | 80% | 80% | 60% |
| 2 | EQUIPOS PERIFÉRICOS | 15% | 100% | 40% | 40% | 80% | 90% | 10% |
| 3 | ACONDICIONAMIENTO CIVIL | 20% | 100% | 80% | 50% | 90% | 90% | 90% |
| 4 | COSTOS DE TRANSPORTE | 15% | 100% | 60% | 60% | 80% | 80% | 70% |
| 6 | GARANTIAS | 5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

| | | | | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7 | FORMA DE PAGO | 5% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 65% | 59% | 84% | 86% | 64% |

7. Ahorros

| | | PESO POR ITEM EN % | Marco Referencia | Predescarne | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinacion |
|---|----------------------|-----------------------|---------------------|-------------|---------------------|----------------|----------------------|-------------|
| 1 | AGUA | 30% | 100% | 80% | 80% | 0% | 80% | 100% |
| 2 | ENERGIA | 30% | 100% | 80% | 80% | 0% | 80% | 100% |
| 3 | INSUMOS | 30% | 100% | 80% | 80% | 0% | 80% | 100% |
| 4 | DISMINUCION RESIDUOS | 10% | 100% | 60% | 60% | 80% | 80% | 100% |
| | SUBTOTAL >> | 100% | 100% | 78% | 78% | 8% | 80% | 100% |

| | RESUMEN | PESO POR ITEM EN % | Marco Referencia | Predescarne | Bombos con palas | Filtro de pelo | Filtro de solidos | Combinacion |
|---|--|-----------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------|
| 1 | Seguridad industrial y análisis de riesgos | 5% | 100% | 60% | 60% | 100% | 100% | 48% |
| 2 | Tecnología | 25% | 100% | 96% | 96% | 85% | 100% | 93% |
| 3 | Operación | 25% | 100% | 62% | 62% | 71% | 71% | 97% |
| 4 | Medio ambiente (Aspectos ambientales) | 10% | 100% | 56% | 64% | 44% | 36% | 100% |
| 5 | Consumos energeticos | 10% | 100% | 50% | 70% | 90% | 90% | 100% |
| 6 | Costos de inversión | 20% | 100% | 65% | 59% | 84% | 86% | 64% |
| 7 | Ahorros | 5% | 100% | 78% | 78% | 8% | 80% | 100% |
| | PROMEDIO >> | 100% | 100% | 70% | 72% | 75% | 81% | 88% |

Anexo 2

Tabla A1: Inversiones de para la propuesta seleccionada de suma de tecnologías

| Inversión | Período 0 | Consideraciones |
|---|--------------------|---|
| Maquina descarnadora CIF CARTAGENA | 171660000 | Incluye transporte interno en Italia, transporte marítimo desde Livorno a Cartagena y seguro. |
| Gastos importación (Incluyendo costo del IVA) | 98682000 | Incluye IVA comisiones de la SIA y gastos estándar de importación |
| Gastos transporte (Interno) | 11400000 | Incluye 3 contenedores desde Cartagena hasta Calarcá |
| Construcciones y obra | 23.200.000 | Incluye obra civil, conexiones eléctricas |
| Bombo de pelambre de 4000x4000 | 182.060.000 | Incluye transporte interno en Italia, transporte marítimo desde Livorno a Cartagena y seguro. |
| Bombo de curtido de 3500x3500 | 156.060.000 | Incluye transporte interno en Italia, transporte marítimo desde Livorno a Cartagena y seguro. |
| Filtro de pelo | 44.260.000 | Incluye transporte interno en Italia, transporte marítimo desde Livorno a Cartagena y seguro. |
| Filtro rotativo de solidos | 28.660.000 | Incluye transporte interno en Italia, transporte marítimo desde Livorno a Cartagena y seguro. |
| Vehículos | 150.000.000 | Retroexcavadora |
| TOTAL INVERSIÓN FIJA | 865.982.000 | |

ANEXO 3

Tabla A2: Flujo de caja por 10 años

| Ingresos | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Ahorros por compra de descarnadora | 98.216.969 | 100.181.309 | 102.184.935 | 104.228.633 | 106.313.206 | 108.439.470 | 110.608.260 | 112.820.425 | 115.076.833 | 117.378.370 |
| Ahorros por compra de bombo pelambre | 47.657.366 | 48.610.513 | 49.582.724 | 50.574.378 | 51.585.866 | 52.617.583 | 53.669.935 | 54.743.333 | 55.838.200 | 56.954.964 |
| Ahorros por compra de bombo curtido | 99.676.474 | 101.670.004 | 103.703.404 | 105.777.472 | 107.893.021 | 110.050.882 | 112.251.899 | 114.496.937 | 116.786.876 | 119.122.614 |
| Ahorros por compra de filtro de pelo | 1.431.670 | 1.460.303 | 1.489.509 | 1.519.299 | 1.549.685 | 1.580.679 | 1.612.293 | 1.644.538 | 1.677.429 | 1.710.978 |
| Ahorros por compra de filtro rotativo | 76.018.625 | 77.538.998 | 79.089.778 | 80.671.573 | 82.285.005 | 83.930.705 | 85.609.319 | 87.321.505 | 89.067.935 | 90.849.294 |
| Total ahorros ambientales | 323.001.104 | 329.461.126 | 336.050.349 | 342.771.356 | 349.626.783 | 356.619.319 | 363.751.705 | 371.026.739 | 378.447.274 | 386.016.219 |
| Gastos | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
| Depreciación sobre la inversión fija e inversión auxiliar | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.20 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 |
| Total gastos | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.20 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 | 68.138.200 |
| Margen | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
| Ingresos - Gastos | 254.862.904 | 261.322.926 | 267.912.149 | 274.633.156 | 281.488.583 | 288.481.119 | 295.613.505 | 302.888.539 | 310.309.074 | 317.878.019 |